

目的 積層岩盤のせん断抵抗は層に斜交する方向ではどのようになるか？ またその変形や破壊は層の方向によって様子が違うのではないだろうか？ などの疑問を筆者等は持ったので、岩盤が引張りに弱くて大きな塑性変形がなくて壊れる脆性的な点などで岩盤と似た性質を持っている石膏、珪藻土の混合材料で140ケースの比較試験をしてみた。

試験の方法 図1の直接せん断箱（せん断面積30 cm×10 cm）をつくり、10トン試験機で上下方向にせん断した。せん断変位を拘束しないためにマイクロベアリング（摩擦係数0.01）を介して側圧Nを作用させた。層面の粗度は、±1 mmと±0.2 mmの2種で比較したが（図22）結果に傾向的な違いがないようで多くは滑らかな方で試験した。せん断の方向に対する層の方向 θ が変ってもT方向の層厚さ一定で試験した。層間の介在物はなく摩擦抵抗（係数1.0）だけである。

結果の考察

テスト1. Dilatancy 拘束時のせん断抵抗の異方性

作用せん断力Tのもとで、差し目と流れ目によって、層の走向を概括的に分類する（図2）。図3で、T荷重に伴うx方向の変位（せん断破壊に伴うダイランシーと仮称）を拘束して（したがってNは図4のように増した）せん断破壊をさせたところせん断抵抗Tは図3のように著しい異方性を示した。その特徴としては差し目（ θ ：負）の場合が強かった。しかし、逆にテスト2. Dilatancy を拘束せず N：一定でのせん断抵抗の異方性は、図5のように、流れ目の場合の方が差し目の場合よりも強かった。図6にx方向のDilatancyを示したが、差し目の場合に膨れやすい。z方向には、図7に示したように、流れ目の場合に膨れやすい。ふくれの絶対値は、変形の自由な方向zよりも、むしろ、力の作用しているx方向で差し目の場合に大きいのが興味深い。図5の結果から、みかけの粘着強度と摩擦係数を求めてみると図8、図9が得られた。みかけの粘着強度は著るしい異方性を示し、流れ目で著るしく強い、みかけの内部摩擦係数は反対に差し目で大きい。

以上、テスト1とテスト2で見出された現象は、この試験方法の範囲内でつぎのような力学

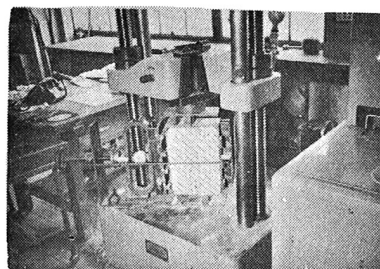


Fig 1. Shear Box

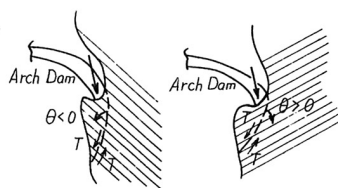


Fig. 2 差し目と流れ目

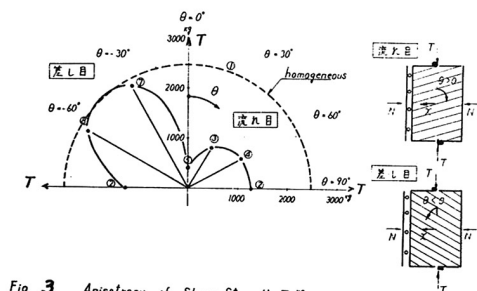


Fig. 3 Anisotropy of Shear Strength T in Confining the Lateral Dilatancy in Direction x .

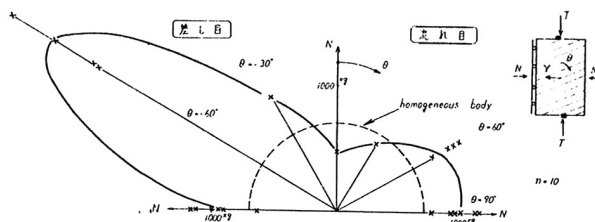


Fig. 4 Anisotropy of Restraint Force N Which was needed to Confine the Lateral Dilatancy in Direction x .

的機構が関係しているように思う。

A 応力的な見方: 差し目の場合には図10で純せん断 τ による引張り主応力の作用で節理面が剥離される傾向、ひいては節理面の開口、引張りによわい材料の曲げわれの傾向を生じやすいと思われ、図5、図8の傾向を生じる一部の理由のように思う。

B 変位的な見方: 図11に示したように、各素片はTなる荷重で差し目の場合にはN方向にふくれ出しやすいせん断変形をし、流れ目の場合には逆にちみちがちなせん断変形をするように思われこれがDilatancyの拘束力の異方性（図4）やx方向のDilatancyと層の方向の異方性（図6）を生じる一部の理由のように思う。実際は、応力的にも成層体ではかなり複雑でありAのように単純でないし、Bの説明にかかわらず、実際には流れ目でも図6の第一象限でも膨れるような内部破壊も伴われるが基本的にA、Bの理由と目下のところ考え

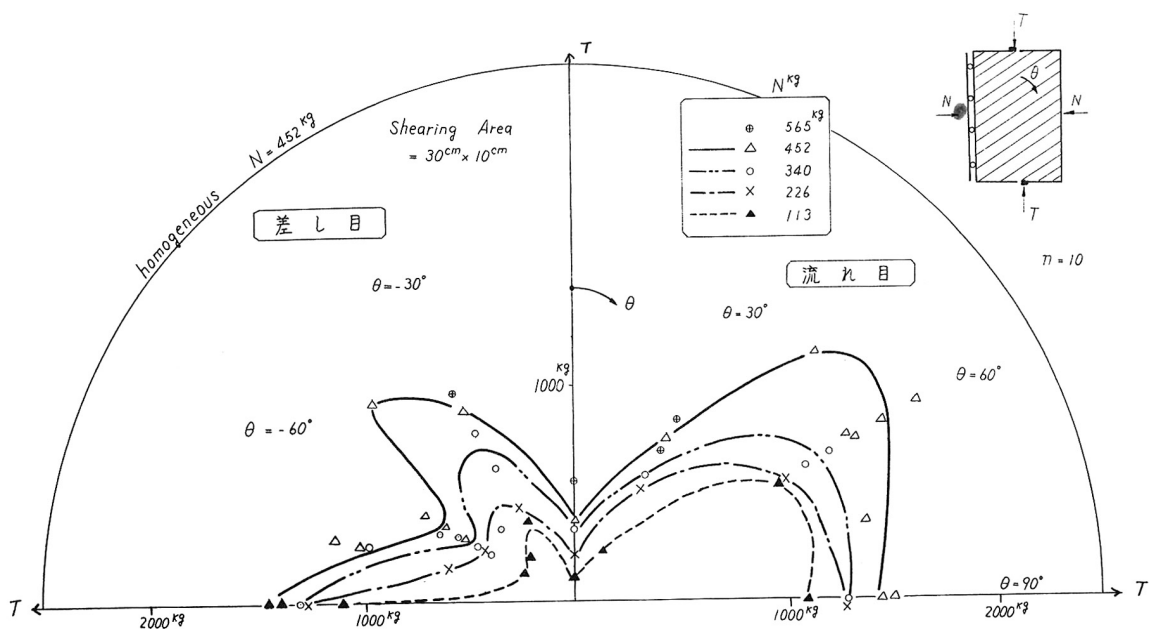


Fig. 5 Anisotropy of Shear Strength T under Normal Force N

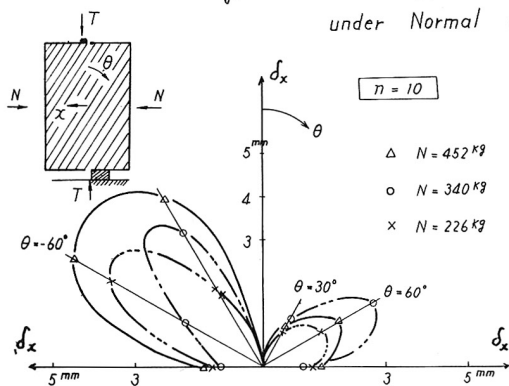


Fig. 6 Anisotropy of Dilatancy in Direction X at Failure

られる。

テスト 3. 破壊の様子は、図 12 ~ 図 15 に示したように、(i) 層の方向によってわれめの方向は全く異なり (ii) われめは層面に直角な方向のわれめが、各素片の曲げにより各所に発生してから、最終的にはこれらがせん断破壊に発達する。 (iii) われめ発端は T の載荷盤の近くであるときと内部の層面であるときがある。 (iv) 破壊音は荷重のごく低いときから連続的に発生し、初期の音は、主として層面の不斉や開口による曲げわれ破壊である。 (v) 破断面は大部分は各層内での引張り破壊 t (破面に空隙が認められる) で、せん断破壊 S (破面がこすられており空隙がすりつぶされている) が部分的に認められる (図 12 ~ 図 13) (vi) したがって成層体の破壊や強度を論じるときには発生する曲げ引張り応力に対する配慮を必要とすると思う。

(vii) この試験は層間の粘性性介在物はない場合であるので、そ

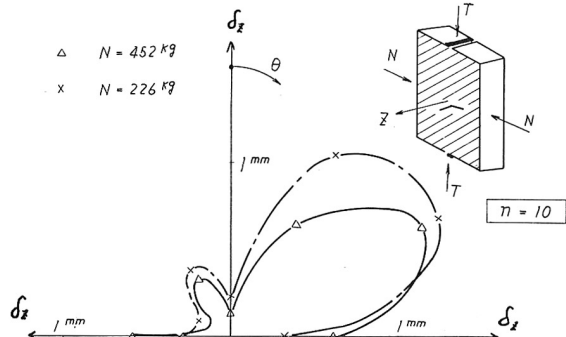
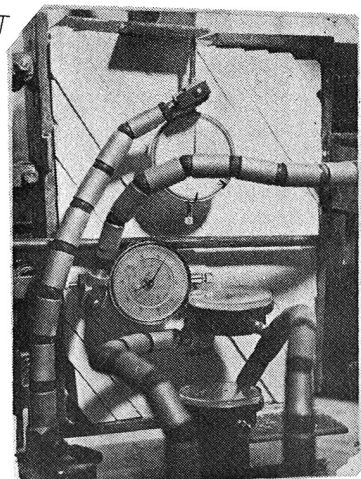


Fig. 7 Anisotropy of Dilatancy in Free Direction Z at Failure

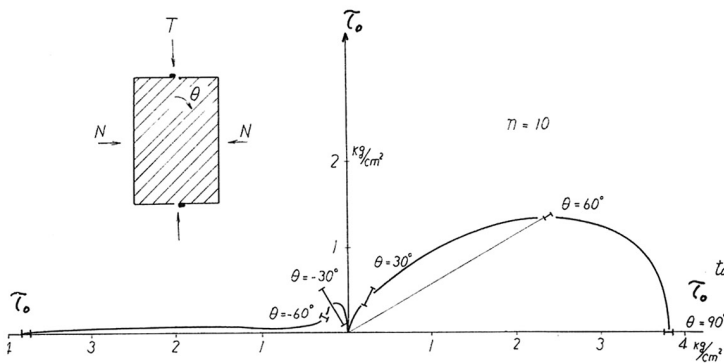


Fig. 8 Anisotropy of Apparent Cohesion
(cohesion of material itself $\tau_0 = 11 \text{ kg/cm}^2$)

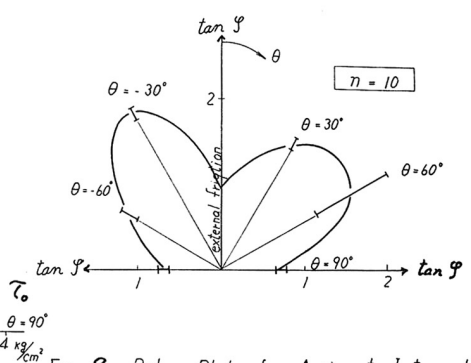


Fig. 9 Polar Plot of Apparent Internal Friction Factor
(external friction of joint plane : 1.0)

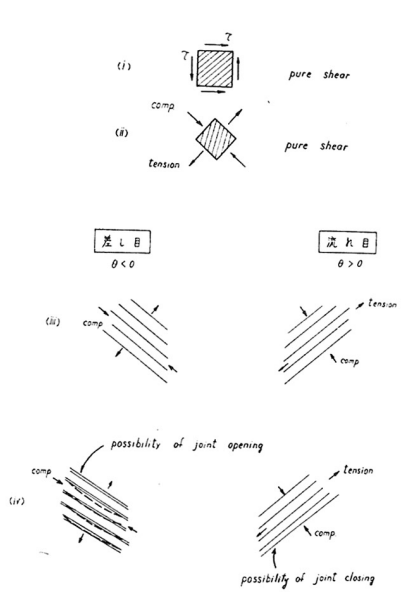


Fig. 10 Difference of Joint Movements and Possibility of Backing (schematic explanation)

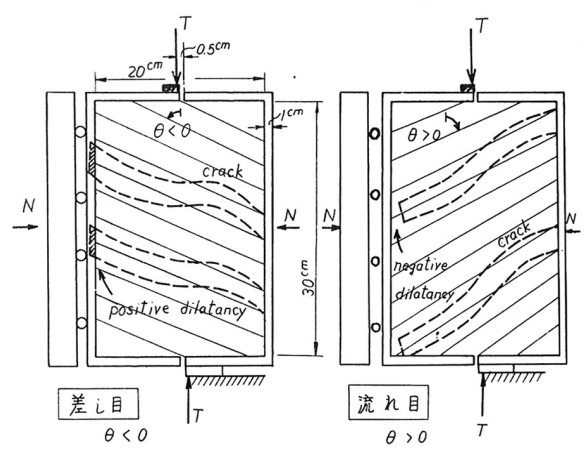


Fig. 11 Sense of Dilatancy and Direction of Bending Cracks in Joint Body (schematic explanation)

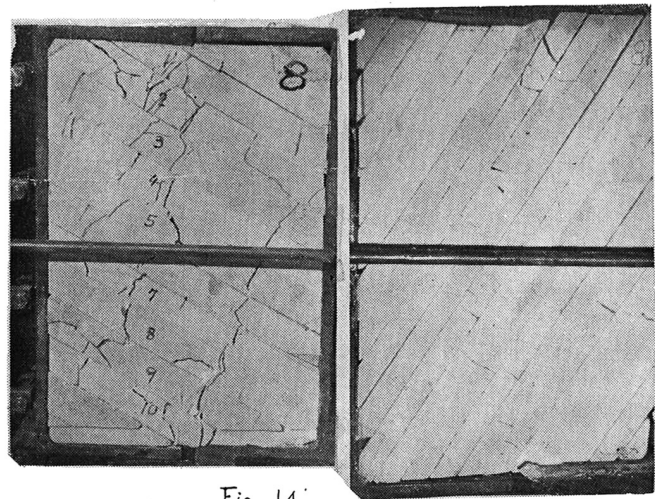


Fig. 14.

Fig. 15

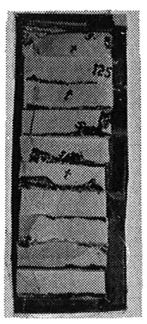


Fig. 12.

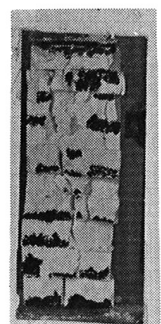


Fig. 13

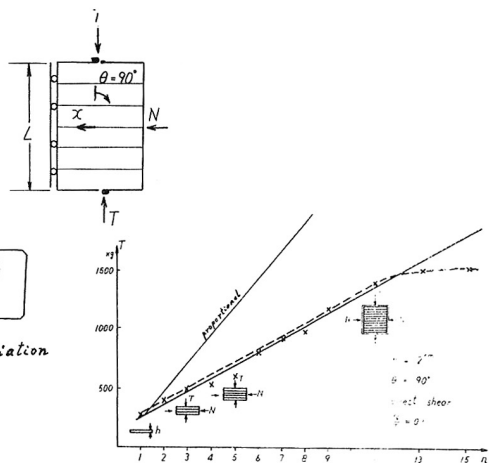
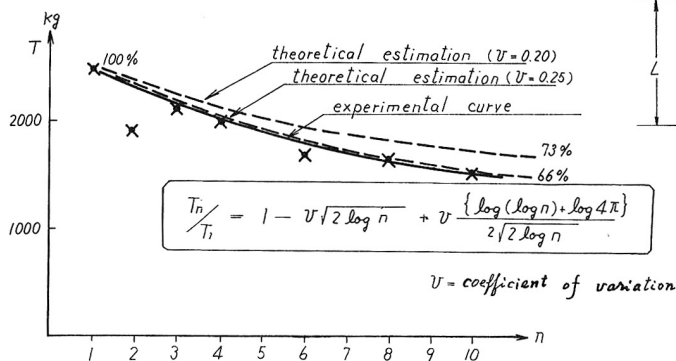


Fig. 16 Strength T decreases Depending on the Number of Joint Bodies n in Equal Shearing Length L ($\theta=90^\circ$, confining condition of lateral dilatancy in direction X)

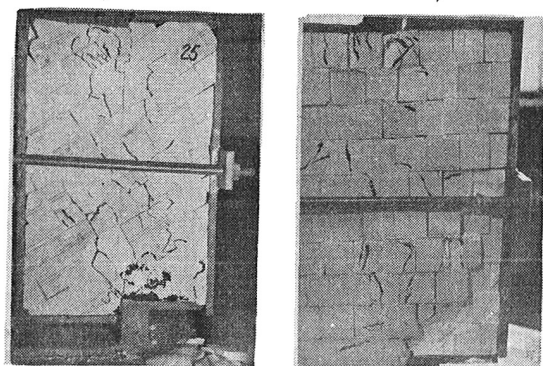


Fig. 18.

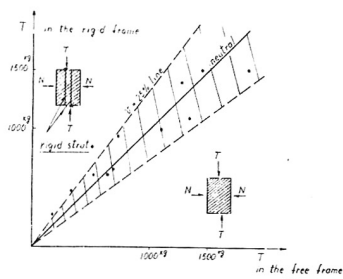


Fig. 21 Correlative Plot of Strength T in Rigid and Free Loading Frames (under several conditions in n and θ)

れがある場合は異なる状況を示すかもしれない。

テスト4. 含まれている節理の数が強度に与える影響

現地岩盤試験の規模を決めるに際し、節理をいくつ含めた大きさの試験体を選べば巨視的に満足できるかが疑問である。この疑問を解く手始めに2つのケース(図16, 図17)のテストをした結果 (i) たとえせん断面積の大きさが同じであっても、節理面の数 n が多い程、巨視的な強度は低下する。その低下率は、極値分布理論を適用すると現象的にほぼ適合する可能性がある(図16)。極値分布理論は不連続な節理面の強度を評価する場合にも有効であることはすでに前回報告した。〔林 正夫 : 不連続な節理面の強度特性: 第2回岩盤力学シンポジウム 1963〕。今回のテストでは全く同一ケースでは、多くても数回の値しか得ていないが変動係数 v は 0.2 ~ 0.25 の場

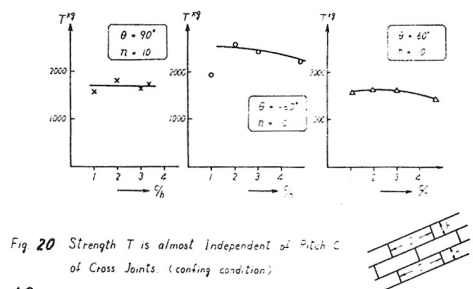


Fig. 20 Strength T is almost independent of Pitch c of Cross Joints (confining condition)

Fig. 19

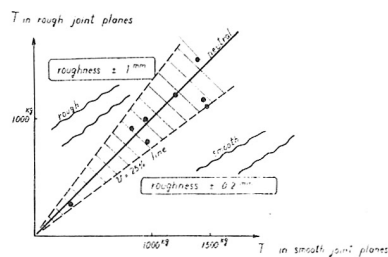


Fig. 22 Correlative Plot of Strength T Regarding the Roughness (under several conditions in n and θ)

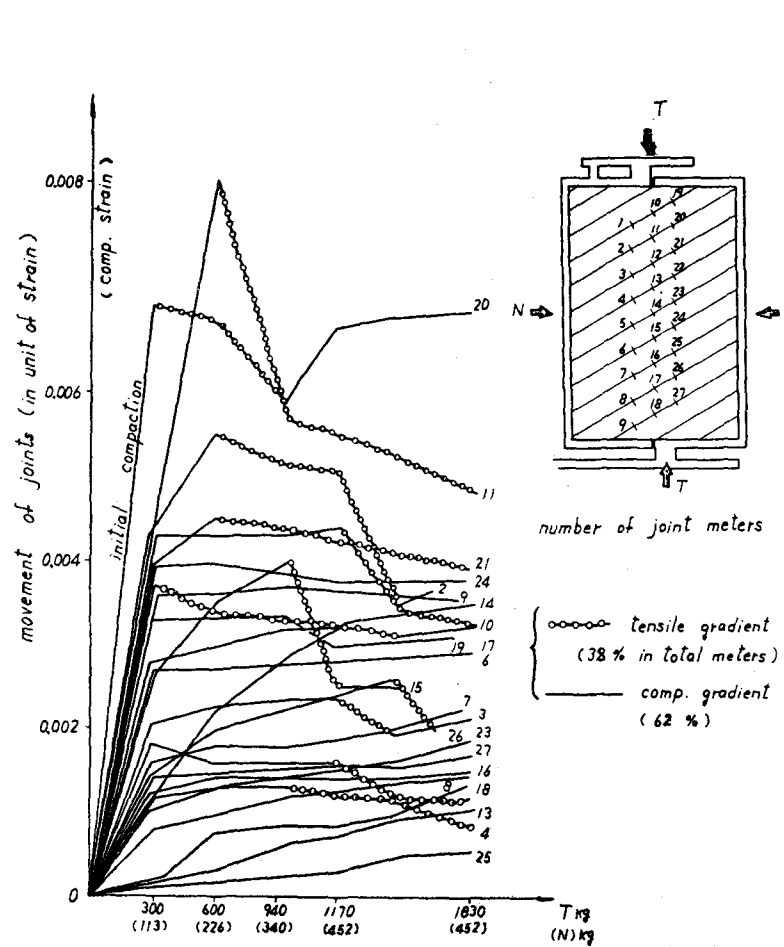


Fig. 24 Low Probability of Joint Opening During the Failure Test of Jointy Mass with Positive Inclination ($\theta = 60^\circ$)

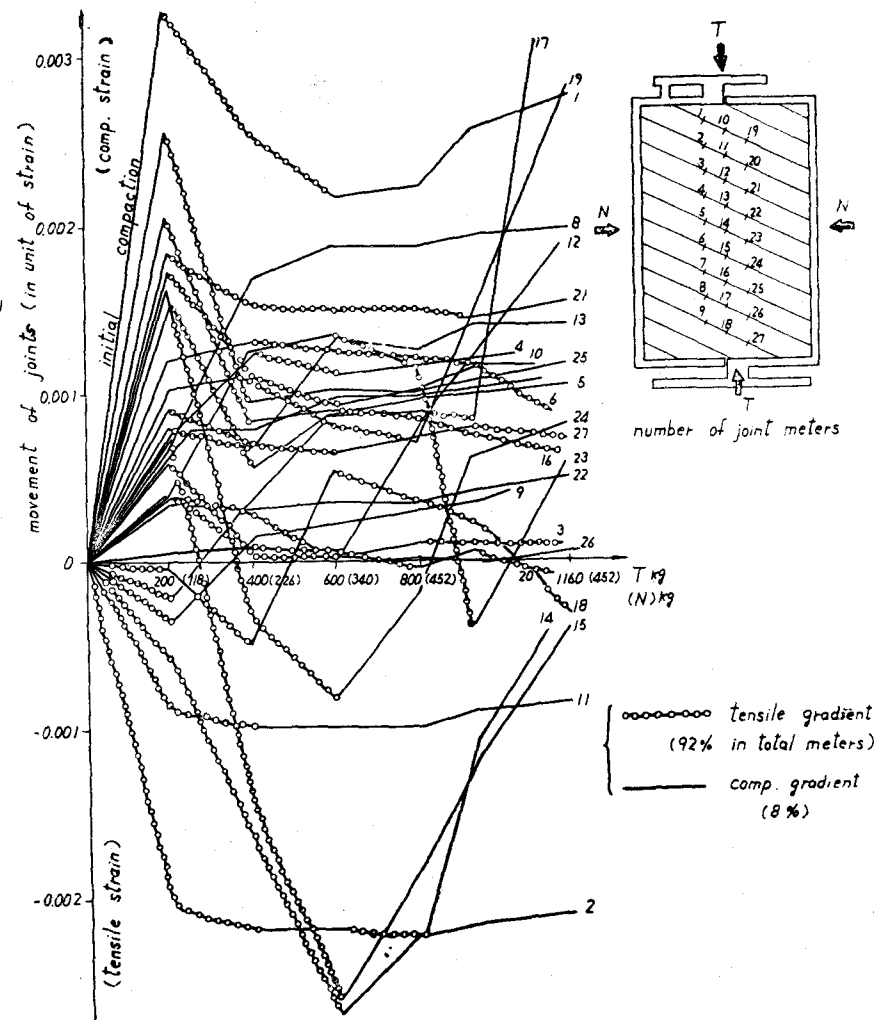


Fig. 23 High Probability of Joints Opening During the Failure Test of Jointy Mass with Negative Inclination ($\theta = -60^\circ$)

Anisotropy of shear resistance and dilatancy of jointy
mass and some mechanisms of fracture in direct shear

Masao HAYASHI

Giichi FUJIWARA

Central Research Institute
of Electric Power Industry
Komae, Tokyo, Japan

Summary

Anisotropic shear resistance and dilatancy under the direct shear are discussed based on the 140 laboratory tests of jointy plaster masses which might have similar property as rock mass in a point of view of brittleness and weakness in tensile resistance, in order to approach the stability mechanics of jointy rock slope subjected to the partial load.

It was found that, although jointy masses with positive inclinations against the shear force (apparently unstable joint system against sliding) show less shear strengthes than joint masses with negative inclinations (apparently stable against sliding) under perfect restraint condition of dilatancy perpendicular to shear plane, on the contrary, positive jointly masses under few restraint conditions of the dilatancy show more strengthes than negative ones. Anisotropy of dilatancy with respect to the joint inclination seems to be remarkable.

Furthermore a mechanism on such an anisotropy of shear resistance and dilatancy of jointy mass is explained in relation with possibility of joint opening or closing and sense of rotation due to the shear force.

Additionaly, it was observed that cross joints system perpendicular to the bedding joints had only slight influence on the macroscopic strength of jointy mass.

Evaluating the macroscopic strength of jointy mass, the extreme value stochastics might be much available according to the author's comparison between experimental results and the theoretical prediction.

(Sept. 1965)

合が多い。図16のテストは $\theta = 90^\circ$ の将棋倒しの場合である。節理が多ければ弱くなることは常識であるがその低下率 T_n/T_1 について極値分布理論が当てはまるように思われることは興味深いように思う。(ii) n 本の同一厚さの節理体のせん断強度は、1本のせん断強度の n 倍にはならず、0.5 n 倍程度であった(図17)。ただし $n > 10$ ではさらに低下するようであった。

テスト5. Cross Joint の System が成層体のせん断強度に与える影響

図14, 図15のような成層体には、実際の岩盤では直交する節理系(Cross Joints)が発達していることが多い。上述の諸結果はCross Jointsがあると様子が変るかどうか筆者等の疑問となったので、Cross Jointsを図18, 図19のようにあらかじめ入れたもので x 方向のダイレタンスを拘束した状態の試験と比較をした結果、図20のようにCross Jointsのない場合($c/h \rightarrow \infty$)に比し、Cross Jointsがあっても巨視的な強度は低下せず場合によっては増加の傾向すら認められることがある。この現象は、Cross Jointsのない場合に発生しがちな強制的な曲げ割れが発生しがたい特徴がCross Jointsのある場合に有るためと思う。興味ぶかいことである。補足 上述の諸結果は用いた試験方法に左右される心配があったので、つぎの2点については、補足試験の結果、結果の大勢にあまり影響はないと認めた。補足測定1. せん断箱のT載荷板が撓むと荷重の集中度が強くなるので、大部分は図21のstrutをいれ補剛したが図21のようにstrutの有無で特徴的な差はなかった。補足測定2. 節理面の粗度の2種類の差は図22のように明らかでなかったため、大部分はsmoothな場合の結果を報告した。今後 3軸圧縮試験、層の介在物の影響、層面の起伏の影響、側圧板の剛拘束の影響などを調べたい。結論 ①積層体のせん断抵抗はせん断荷重の増加にともなう変形の拘束の有無で全く傾向の異なる異方性を示すことが140ケースの室内での直接せん断試験から認められた。②すなわち、せん断荷重に直角方向の変形(横変形)を拘束すれば、差し目の場合の方が流れ目の場合よりもせん断抵抗は大きい、その変形を拘束する代りに定応力を与えた場合には、逆の傾向を示した。③この力学的機構は差し目と流れ目の場合でせん断荷重に対しての節理の開閉の傾向が異なるための層の挫屈の可能性の大小およびせん断荷重にともなう層の回転による横の変形の正負の傾向などにより説明できるであろうと述べている。④供試体内の節理の数と強度との関係の実験傾向に極値分布確率論を導入してみたところほぼ適合する場合があった。⑤積層体内のCross Joints Systemの有無は積層体のせん断抵抗にあまり影響を与えないような結果となった。⑥以上の結果は試験の境界条件に影響を受けるとと思われるので、この試験方法の条件下に限定して目下のところ解釈されるべきものであろう。

(1965年9月)